

저수지군 운영을 고려한 네트워크 모의운영 모형 개발

고익환*/○박상근**/박명기***

Ko, Ick Hwan/Park, Sang Geun/Park, Myung Ky

1. 서론

하천 유역의 한정된 수자원 이용의 효율성을 극대화하려면 장·단기 유역 저수지군 운영의 의사결정을 지원하는 분석도구가 필요하다. 네트워크 모의운영 모형은 장래 수자원 개발 계획 검토와 현재의 유역 물수급을 고려한 저수지군 최적 운영을 통합하여 고려할 수 있는 유용한 수자원 시스템 분석 기법중의 하나이다. 이러한 시스템의 구축을 위해 한국수자원공사는 MODSIM 모형을 기반으로 한 유역 물관리 네트워크 모의모형을 미국의 콜로라도 주립대(CSU)와 함께 개발하고 있다.

그동안 국내에서 시도되었던 MODSIM 모형은 주로 물수지 분석을 통한 장기 수자원 계획 목적으로 제한적으로 시도되었으나, 이번 연구에서는 계획 차원 뿐만 아니라 운영 차원에서의 활용도를 높일 수 있도록 월간, 순별, 일별 저수지 운영에 중점을 두고 금강 유역을 대상으로 개발하고 있다.

2. 모형에서의 댐운영 방안 고려 방법

MODSIM 모형을 이용하여 댐 운영을 고려하는 방법은 다음과 같이 4가지가 있다. (1) 현재 저수지의 저류량과 저수지로의 유입량을 고려한 수문학적 상태를 지정하는 방법, (2) 댐운영 최적화 모형에서 수행한 결과를 읽어들이는 방법, (3) 댐 방류량 및 발전 관련된 내용을 각각 달리 고려할 수 있는 수요 노드를 댐 직하류에 설치하는 방법, 그리고 (4) PERL script을 이용하여 댐 운영 방안 및 제약 사항을 프로그램으로 만드는 방법 등이 있다. 이 중에서 현실적으로 복잡하고 다양한 유역 물관리 환경 조건을 반영할 수 있고 실무 적용이 가능한 방법으로는 (2) 방법과 (4) 방법이 있는데 (2) 방법은 기존의 연구사례에서 많이 찾아볼 수 있는 방법으로 댐운영의 반영은 주로 별도의 최적 운영 모형을 이용하여 따로 계산을 하고 그 결과를 다시 모형에 제공하는 형태로 개발되었다. 그러나 이번 연구에서는 (4) 방법을 통해서 수문조건에 따라 운영 방안 및 제약조건 등을 고려하여 물배분을 수행하는 모듈을 모형 내에 삽입하여 개발하고자 한다.

PERL(Practical Extraction and Reporting Language)은 flat file 형태로 구성되는 MODSIM의 네트워크 구성 자료에 직접적으로 접근하여 자료를 처리하거나 수정하는 등의 작업이 가능하며, 프로그래밍을 통하여 복잡한 수문 상황을 고려한 시스템의 운영을 제어하는데 사용이 가능하다. 이는 컴파일 필요없고 원래 파일은 그대로 두고 자료를 처리하는 형태이므로 다양한 상황에 대한 프로그램의 운영에 적합하다고 할 수 있다.

3. 대상 유역 저수지군 모의 운영시 고려 사항

금강 유역의 댐 상하류의 물수급 상황에 대한 고려가 가능한 유역 관리모형으로의 MODSIM을 구축하기 위하여 현재 운영중인 대청댐과 용담댐에 대한 주요 운영을 조사하고 이를 수식으로 전환하여 프로그래밍 작업을 진행 중에 있다.

-
- * 한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부장
 - ** 한국수자원공사 수자원연구소 하천유역관리팀 연구원
 - *** 한국수자원공사 물관리상황실

고려대상인 댐운영 기준수위, 가뭄대비 댐 운영 기법, 평갈수기 주요 운영 기준 및 고려사항, 금강유역 기존 다목적댐의 운영 지침, 그리고 댐 운영 제약 사항 등을 살펴보면 다음과 같다.

금강 유역의 두 개의 다목적댐인 용담댐과 대청댐의 댐 제원은 그림 1-그림 2와 같다. 각 댐에 대한 수위별 저류면적과 저류량 관계가 들어가게 된다.

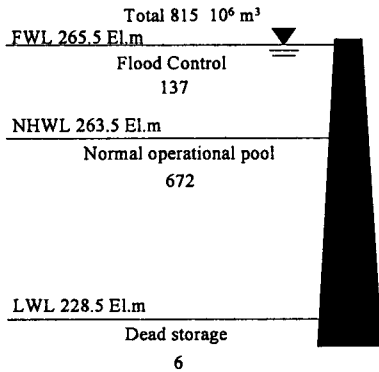


그림 1 용담댐 제원

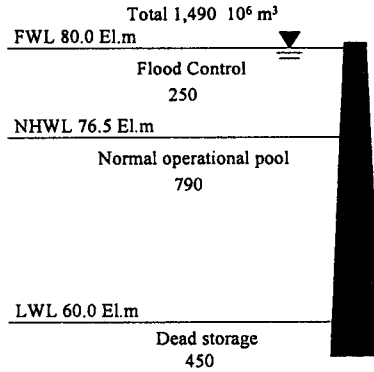


그림 2 대청댐 제원

댐 운영을 고려하기 위해 첫 번째 고려해야 할 것은 '댐운영 기준수위'이다. 이는 평갈수기의 대상 시기에 어느 정도의 수량을 다목적댐에서 저류하고 있어야 하는지를 결정해주는 것으로서 이수안전도에 입각하여 댐의 용수공급계획을 보장할 수 있는 양을 결정해 놓은 것이다. 댐의 운영 수위는 홍수기가 끝나는 10월 부터 익년 6월까지의 지속적인 용수공급으로 인하여 운영 수위가 내려가게 되고 7월~9월의 홍수기가 끝나는 시점에는 각 댐에서는 상시 만수위까지 확보 할 수 있도록 운영을 하는 것을 고려해야 한다. 실제 댐운영을 위한 기준수위는 댐운영 실무자들이 유입량 조건에 따라 엑셀 등을 이용하여 설정하는데 이번 모형 수행에서는 월간 운영 기준 수위로는 최적화 모형(SSDP)을 통해 분석된 값을 사용하게 하였고, 일간 운영에서의 기준 수위는 MIP 모형을 통해서 분석되어지는 값을 사용하도록 모형 개발 방향을 설정해 두었다. 두 번째는 가뭄에 대비한 댐운영 기법을 모형에서 고려해야 한다. 저수상황에 따른 공급량 감소를 정하는 저수지 운영의 기준을 설정한 것으로 댐에서 공급하는 용수의 용도별 우선순위를 고려하여 공급량을 조절하는 것이다. 홍수기에는 홍수조절이 타 용도에 우선하고 갈수시에는 생활용수>공업용수>농업용수>하천유지용수>발전용수의 순으로 우선 순위를 두고 공급량을 조절한다. 또한 각 댐의 저수위 상황별로 해당 시기에 댐이 공급 할 수 있는 양을 정해놓은 대응 수위라는 것도 고려할 수 있어야 한다.

댐에서의 증발량과 지하수 침투량은 이번에는 고려하지 않았으며, 용수 공급 이외에는 발전과 관련된 사항을 살펴볼 필요가 있다. 여기에는 각 댐별 발전 방류량 및 발전 시간, 방류량과 유효 수두에 대한 발전 효율, 방류량과 방수위 관계 등을 나타내는 자료가 필요하게 된다. 대청댐에 대해서는 이러한 자료가 현재까지의 운영성과의 분석에 따라 그 내용이 알려져 있으나 용담댐의 경우에는 실제로 담수가 완료되고 정상적인 운영이 되기 시작한 시점이 2002년 하반기부터이므로 아직까지는 이러한 관계를 정형화 할 수 있는 자료가 미비한 상태이다. 이에따라 일부 자료에 대해서는 실제 운영의 결과가 아닌 설계 당시 사용한 대표값을 사용하였다. 그리고 전주권으로의 용수 공급을 통해서 상시 발전을 운영하고 있고 금강 본류 방향으로도 발전을 수행하고 있는 점을 모형에서 고려해야 한다.

대청댐에 있어서는 평갈수기에는 5시간 첨두발전을 하고 나머지 유입량은 저류하는데, 저수지 수위가 목표 수위보다 높거나 유입량이 많이 들어올 경우에는 5시간 이상으로 추가발전을 하도록 한다. 용담댐의 경우에는 금강 본류쪽으로의 하천 유지 용수의 공급과 전주권으로의 용수 공급 및 상시 발전을 고려해야 한다. 특히 최근들어 갈수 조건에 따른 유입량을 고려할 때 기존에는 10년 빈도의 갈수 유입량을 고려하였으나 최근에는 20년 또는 30년 갈수빈도 조건으로 강화되어 운영되고 있는 점을 고려하여야 한다. 그리고 대청댐에서 하류로 방류하는 총량은 가능한 한 40 cms 이상이 되도록 유지한다.

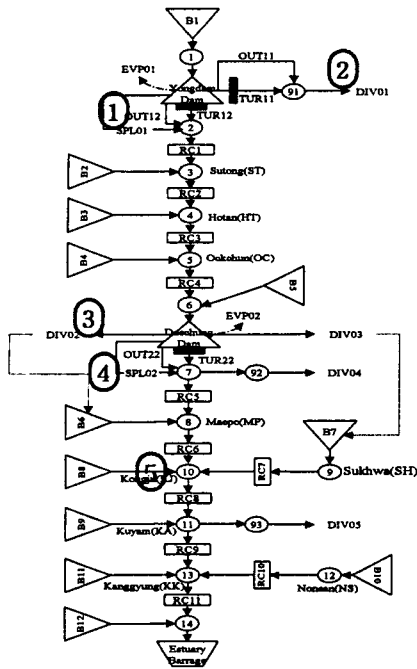


그림 3 금강유역 유출모식도

4. 모형 개발

금강유역에 대하여 대청댐 준공 이후인 1981~2002년을 분석 대상기간으로 설정하였다. 이 기간동안의 대청댐으로의 유입량 및 공주 수위표의 관측 유량 분석을 통하여 각 소유역의 유입량을 구하였다. 소유역별 용수 수요는 기존의 조사 결과를 이용하였고 월별 사용 수량을 일별로 나누어 사용하였으며, 농업용수 수요에 대한 보다 더 정확한 분석은 현재 따로 수행되고 있다. 광역 상수도 공급량은 실제 설계상의 용수 공급능력 과 함께 현재 실제로 공급하고 있는 양을 고려할 수 있도록 구성하였다. 댐 운영에 대한 과거 운영 실적은 댐의 발전 방류량과 여수로 방류량을 고려하였다. 용담댐에 대해서는 2002년 여름 이후에 담수가 완료된 후부터 정상적인 발전 방류 및 용수 공급이 이루어진 점을 고려하였다.

이러한 과거 운영 자료와 실제 그 기간동안의 주요 수위관측소에서의 관측량을 비교하므로써 매개변수에 대한 보정을 수행하고 있는데 대청댐 상류에서는 수통과 호탄, 댐 하류에서는 공주와 규암을 주요 지점으로 설정하였다. 대청댐 하류에 대한 하천 유지 용수를 설정하였고 용담댐 건설 후에는 용담-대청 구간에 대해서도 유지 용수량을 설정하였다.

3장에 언급된 댐 운영 관련 자료 중에 PERL script로 처리해야 할 부분은 댐 제원 관련된 부분과 댐운영 기준수위, 저수 상황에 따른 공급량 설정 또는 대응 수위 등이다. 나머지 운영에 관한 사항은 MODSIM 모형 안의 기존 항목으로 고려가 가능하다. 다만 연속적인 모형의 분석을 통한 신뢰도 평가 부분에서는 홍수기 또한 포함하여 모형을 시험하고 있는 관계로 홍수기(6월 말 ~ 9월 말)의 홍수기 제한 수위 등의 조건을 고려하고 이상 강우에 등에 따른 방류량의 증가에 대한 조건 등을 고려하기 위해서도 PERL script 등이 사용되었다. 다음 그림 4는 이러한 사항을 고려하여 구축한 금강유역의 MODSIM 네트워크 구성을 나타낸 것이다.

유역 저수지군 운영 환경 및 제약조건을 반영한 시스템을 구축한 뒤, 두 단계의 모형의 검정을 수행하였다. 먼저 물리적 검정을 통해서 전체 대상 수계의 상하류의 물수지 검토, 과다 또는 과소의 유량이 발생시에 관측자료의 이상여부를 검토, 물리적으로 어느정도 유효한 경향을 보이는 기간의 자료군을 선별하는 과정 등을 분석하였다. 다음 단계인 운영 측면의 검정에서 물리적으로 나타나는 상황이 댐 운영이나 제약 조건 등에

그림 3에 도시한 금강수계 유출 모식도와 같이 용담 및 대청댐에서의 하천유지 용수 공급량을 ①과 ④에 정의해 두었다. 그리고 ⑤ 공주 수위표 지점에서의 하천유지 용수 조건을 통해 고려한다. 각 댐 및 본류 구간에서 공급하는 광역 상수도 용수 공급량 중 용담댐에서는 ②(DIV01)를 통해 전주권으로 용수공급 및 상시 발전을 하고 대청댐 상류에서는 ③(DIV02+DIV03)을 통해 천안권 및 청주권으로 공급을 하고 있다. 대청댐 직하류의 DIV04는 아직 운영을 하지 않으나 완공 후의 운영을 대비한 것이다. 그리고 부여의 취수장을 통하여 DIV05에 의한 용수 공급이 이루어지고 있다.

각 소유역에서의 회귀율은 생·공용수는 65%로 설정을 하였고 농업용수의 경우에는 35%의 회귀율을 설정하였다. 회귀수의 지체시간에 대해서는 일단 월간 운영에 있어서는 지체를 고려하지 않고 일간 운영에 있어서는 관련 가용 자료가 부족하여 검증을 통하여 조정을 하는 방향으로 개발 중에 있다.

일간 운영에 있어서는 하도 추적을 고려해야 하는데, MODSIM 모형은 두가지 방법으로 하도 추적을 고려할 수 있다. 하나는 Lag time을 입력해 주는 방법이고 다른 하나는 Muskingum 방법을 사용하는 것이다. 그러나 이수기를 고려할 수 있을 정도의 상관 관계를 가지는 Muskingum 매개변수의 추출이 어려워 Lag time으로 고려하는 방식을 사용하였다.

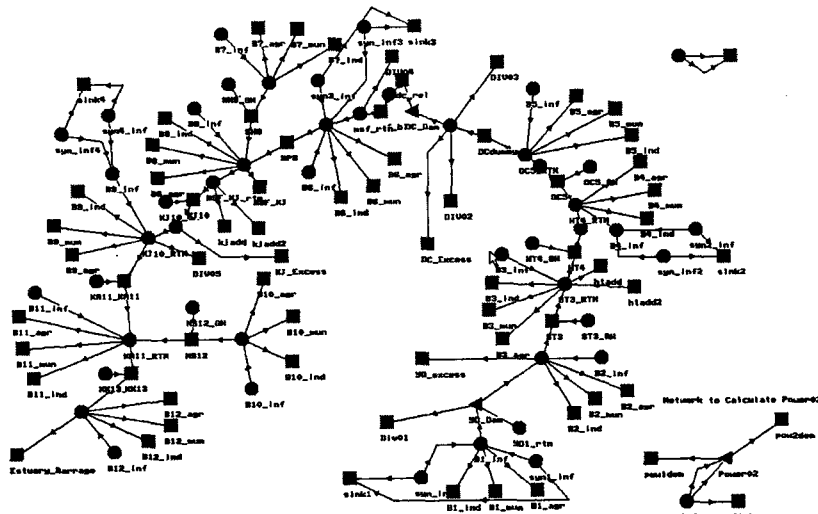


그림 4 금강유역 네트워크 구성도

부합여부와 회귀율 또는 지체시간 등을 나타내는 매개변수 등이 유효한 값을 나타내도록 조정하였다.

5. 향후 개발 계획

유역 저수지군 운영을 고려한 MODSIM 모형은 최적화 모형인 SSDP 모형과 MIP 모형의 출력결과로 제시된 운영 방안을 토대로 유역내 복잡한 용수 수급 환경을 감안한 세밀한 장·단기 저수지군 운영계획 및 평가도구로 활용될 것이다.

아울러 모형의 우수성이 확보 될 경우, 이를 이용하여 한정된 수자원을 최대한 이용할 수 있는 연계운영 방안 등을 수립과 함께 가뭄 위기 관리, 물 분쟁시 협의 조정을 위한 의사결정 지원 도구로 개발할 것이다.

6. 참고문헌

- 고익환, 박상근, 박명기, “하천유역 물관리를 위한 네트워크 모의운영 모형개발”, 2002 대한토목학회 학술발표회 논문집, 2002 11.
- 한국수자원공사, 다목적댐 운영 실무편람, 2002.
- 건설교통부, 수자원 계획의 최적화 연구(II)(물수지분석 시스템 연구), 1999.
- 한국수자원공사, 수자원분석시스템 구축기법에 관한 연구 보고서, 2001.
- Labadie, J. W., MODSIM, River basin network flow model for conjunctive stream-aquifer management Ft. Collins, CO. USA, 1995.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-6-1)에 의해 수행되었습니다. 이와 관련하여 관계자 분들에게 감사드립니다.